

ALASCA-HANKKEEN MITTAUSTEN AINEISTON- KÄSITTELY JA LOPPURAPORTOINTI

Alasca-hanke

Haavikko Samuli
Selkälä Jussi

Opinnäytetyö
Tekniikka ja liikenne
Maanmittaustekniikka
Insinööri (AMK)

2018

Tekijä	Samuli Haavikko	Vuosi	2018
	Jussi Selkälä		
Ohjaaja	Timo Karppinen		
Toimeksiantaja	Lapin ammattikorkeakoulu		
Työn nimi	Alasca-hankkeen mittausten aineistonkäsitely ja loppuraportointi		
Sivu- ja liitesivumäärä	26 + 9		

Tämä opinnäytetyö oli osa Alasca-hanketta, jonka tavoitteena oli luoda uusi lähestymiskulma tieverkon ennakoivaan kunnossapitoon ja laadunvalvontaan. Itse opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä NordicGeoCenter Oy:n mobiiliskannerilla mitaamasta pistepilviaineistosta tien uraisuutta kuvaava eropintamalli.

Opinnäytetyöhön valittiin kvalitatiivinen eli laadullinen tutkimusmenetelmä. Opinnäytetyö oli toiminnallinen tapaus-opinnäytetyö. NordicGeoCenter Oy:n pistepilviaineistosta luotiin tielle referenssipinta, jota verrattiin alkuperäiseen pistepilveen. Tästä syntyi uraisuuden eropintamalli. Pistepilviaineistolle tehtiin myös laadunvarmistustoimenpiteitä, joissa pistepilven yksittäisiä pisteitä verrattiin alueella tarkkavaahtuihin korkeuspisteisiin.

Opinnäytetyön tuotoksiin kuuluu tien uraisuusselvityksen lisäksi aihetta ja menetelmiä pohjustava teoriaosuus sekä pohdintaosio. Työn tuloksena syntyi uraisuuden eropintamalli hankkeen sidosryhmän LIDAR-menetelmällä mitatun mallin vertailua varten. Opinnäytetyöllä on merkitystä alalle, sillä samasta aiheesta tehtyjä tutkimuksia on todella vähän.

Avainsanat: mobiilimittaus, laserkeilaus, pistepilvi, eropintamalli, 3D-Win-ohjelmisto

Author	Samuli Haavikko	Year	2018
	Jussi Selkälä		
Supervisor	Timo Karppinen		
Commissioned by	Lapland University of Applied Sciences		
Subject of thesis	Processing and Reporting of Alasca Project Measurements		
Number of pages	26 + 9		

This thesis was part of the Alasca project, the goal of which was to create a new approach for a preventive maintenance and a quality control of the road network. The aim of the thesis itself was to make a differential model from the NordicGeoCenter Oy's mobile scanner point cloud data which reflects furrows on the road.

A qualitative research method was chosen for the thesis. The thesis was a functional case thesis. A reference surface was made from the point cloud data of NordicGeoCenter Oy. It was compared to the original point cloud. This resulted in a differential model of the furrows on the road. Quality control measures were also carried out for the point cloud material, where individual points of a point cloud were compared to the precision elevated points in the area.

In addition to the road furrows research the results of the thesis include the theoretical part about the subject and methods, as well as the reasoning part. As a result a differential model was made for the comparison of the model measured by the LIDAR method from the project's interest group. The thesis is significant in the field because there are not many researches on the same subject.

Key words mobile mapping, laser scanning, point cloud, differential model, 3D-Win-programme

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	6
2 LASERKEILAINTEEN TOIMINTAPERIAATTEET	8
2.1 Aikaerolaser	8
2.2 Vaihe-erolaser	9
3 MAALASERKEILAUS	11
4 MOBIILIMITTAUS	14
4.1 Mobiilimittaus yleisesti	14
4.2 Alasca-hankkeessa käytetty mobiilimittauslaitteisto	15
5 TAPAUS	17
5.1 Referenssipinnan luominen	17
5.2 Pistepilven harvennus ja rajaaminen	18
5.3 Uraisuutta kuvaavan vertailumallin luominen	19
5.4 Laadunvarmistus	22
5.5 Havainnot	22
6 POHDINTA	24
LÄHTEET	26
LIITTEET	27

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

ALASCA	Automated Road Monitoring Pilot Using 2D Laser Scanning (Lapin liitto)
GNSS	Global Navigation Satellite System (Kaartinen ym. 2013)
IMU	Inertial Measurement Unit (Kaartinen ym. 2013)
VRS-RTK	Virtual Reference Station – Real Time Kinematic

1 JOHDANTO

Automated Road Monitoring Pilot Using 2D Laser Scanning eli Alasca-hanke on työ- ja elinkeinoministeriön rahoittama kokeilu. Alasca-hanke on yksi työ- ja elinkeinoministeriön kansallista aluekehitysmäärärahaa nauttiva hanke. (Lapin liitto.) Lapin liitto yhdessä Lapin ammattikorkeakoulun kanssa vastaavat hankkeen toteutuksesta. Lisäksi hankkeelle mittausaineistoa tuottavat RoadScanners Oy sekä maanmittausalan yhteistyökumppani NordicGeoCenter Oy.

Alasca-hankkeen tavoitteena on luoda uusi lähestymiskulma tieverkon ennakkoivaan kunnossapitoon ja sen laadunvalvontaan. Lisäksi hankkeen tavoitteena on pilotoida automaattiseen tiedonkeruuseen soveltuva 2D-laserskannauksen pilottijärjestelmä, joka on helposti asennettavissa ajoneuvoon. Pilottijärjestelmä havaitsee kustannustehokkaasti polanteet, urat ja muut tien poikkeamat. (Lapin liitto.)

Opinnäytetyön aiheen valintaan päädyttiin ohjaavan opettajan Timo Karppisen ehdotuksesta. Aihe vaikutti mielenkiintoiselta ja uraauurtavalta. Aiheeseen piti kuulua alun perin myös rakennus- ja erikoismittaukset-opintojakson maalaserkeilausaineiston yhdistäminen, mutta aikaisesta lumipeitteestä johtuen mitattu aineisto ei ollut vertailukelpoinen NordicGeoCenterin sulan maan mittauksiin.

Aihe on ajankohtainen, sillä nykyään automaation myötä laajoja alueita voidaan keilata nopeasti ja kustannustehokkaasti. Lisäksi maanmittausalalla on kasvava tarve pistepilviaineiston käsittelyn osaamiselle. Muillakin tekniikan aloilla koulutetaan yhä enemmän laserkeilainten peruskäyttöä, mutta aineistonkäsittelyä ei haluta.

Hankkeen aikataulun tiukkuus selvisi vasta tammikuun alussa, kun hankkeelta ilmoitettiin hankeraportin ehdottomaksi palautusajankohdaksi helmikuun viimeinen päivä. Tämä johtui siitä, että hankeraportti oli päädytty kääntämään englanniksi. Muutoksia alkuperäisiin suunnitelmiin toi myös hankkeen sidosryhmälle toimitettava koordinaattilista uraisuusarvoineen. Lisäksi Lapin ammattikorkeakoululla käytössä ollut vanhentunut RealWorks Survey-ohjelmisto ei soveltunut tien

eropintamallin luomiseen, joten koko malli päädyttiin tekemään 3D-Win-ohjelmistolla.

Tämä opinnäytetyö on kvalitatiivinen eli laadullisella tutkimusmenetelmällä tehty toiminnallinen opinnäytetyö. Opinnäytetyössä havainnoidaan aineistonkäsittelyn kulkua, aineiston laadunvarmistusta ja lopputuotosta.

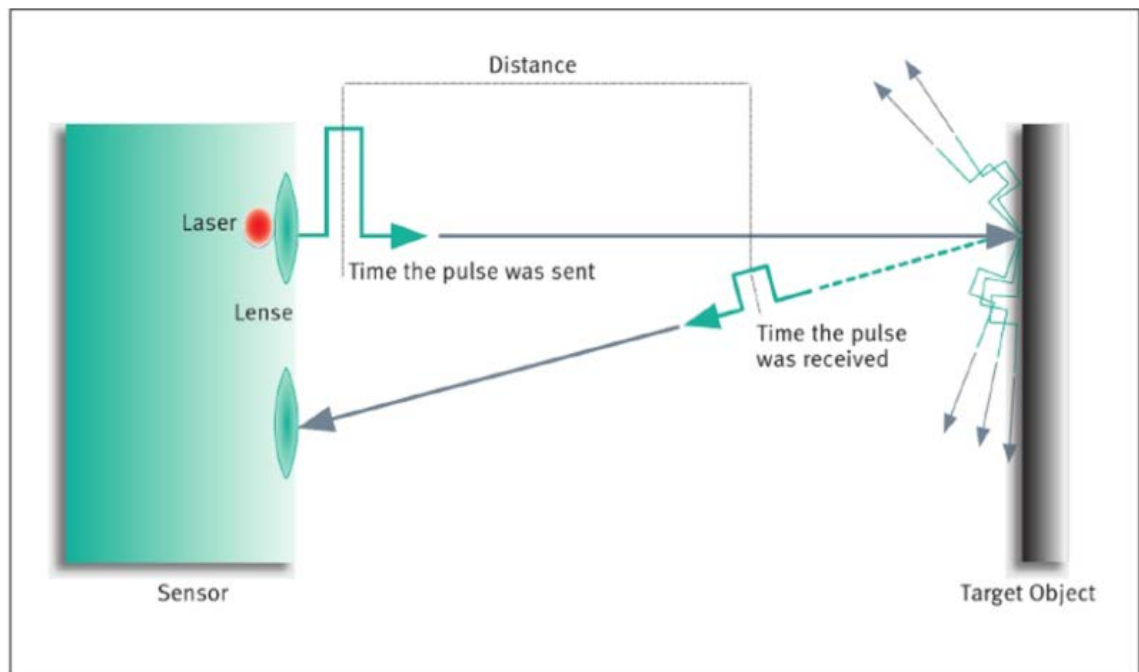
Opinnäytetyön tavoitteena on tehdä mobiilikeilatun pistepilviaineiston käsittelyn osuus Alasca-hankkeen mittauksen loppuraportoinnista, jossa esitellään muun muassa projektin tavoitteet ja mittausmenetelmät. Lisäksi pistepilviaineistolle tehdään laadunvarmistustoimenpiteitä.

Opinnäytetyön oleellisin tuotos on tien uraisuutta kuvaavan eropintamallin luominen NordicGeoCenterin pistepilviaineistosta. Hankkeen sidosryhmä vertaa tehtyä mallia omaan mittausaineistoonsa.

2 LASERKEILAIKENTEN TOIMINTAPERIAATTEET

2.1 Aikaerolaser

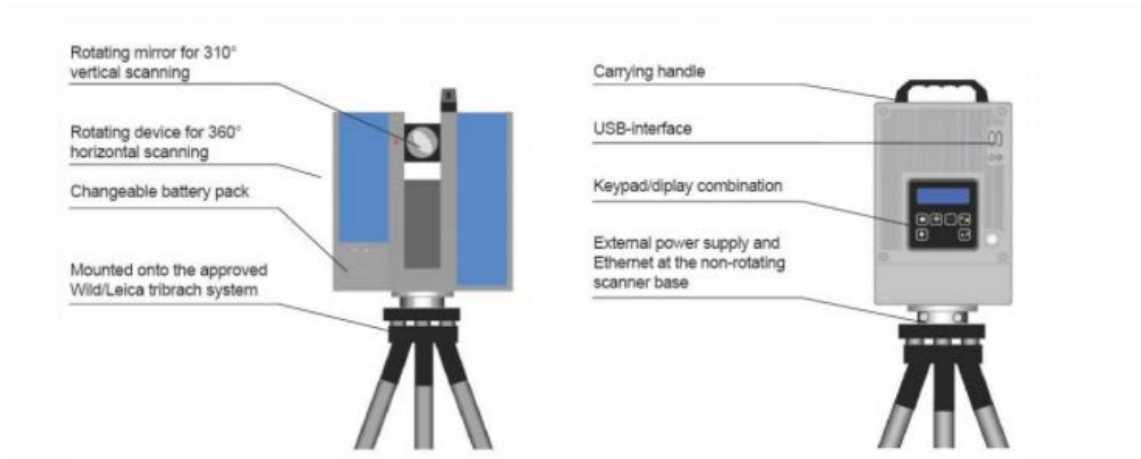
Heinrich Hertz teki läpimurron signaalin kulkuajan mittaamisessa 1880-lvulla, mutta varsinainen aikaerolaser kehittyi vasta laserin keksimisen myötä 1950-luvulla. Menetelmä perustuu siihen, että lähetetään lyhyitä laserpulsseja, joiden kulkema aika voidaan ratkaista erilaisilla menetelmillä. Tällaisia menetelmiä ovat esimerkiksi lähtö- ja paluusignaalin huippujen välisen eron tai määrätyn kynnyksen arvon käyttäminen. (Heiska 2010, 17.)



Kuvio 1. Aikaerolaser (AutomationWorld 2014)

Valon kulkuaikaan (aikaero) perustuvat keilaimet ovat hitaampia, mutta niiden etu on se, että ne mittaavat pitkiä matkoja, jopa useita kilometrejä, tarkasti ja tuottavat laajoja pistepilviä. Vaihe-erokeilaimet ovat paljon nopeampia (noin 500 000 pistettä sekunnissa), mutta niiden etäisyys ei ole 100 metriä pidempi eikä pistepilvi ole läheskään yhtä tiheä kuin aikaerokeilaimissa. (Cronvall, Kråknäs & Turkka 2012, 18.)

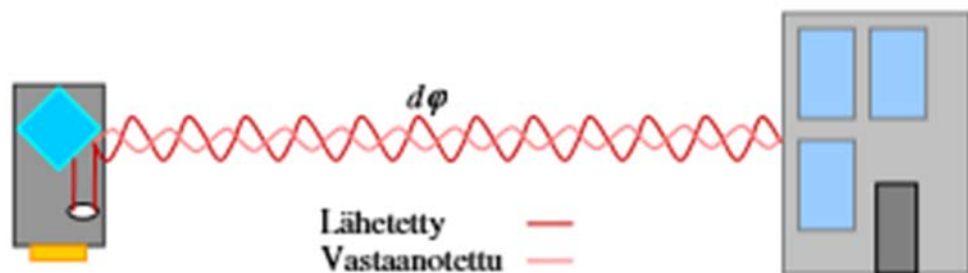
Aikaerolaserkeilaimen lähetin on asennettu rungolle, joka pyörii pystysuoran akselin ympäri. Rungolla on myös vaakasuoralla akselilla pyörivä peili, jolla on ominaisuus heijastaa laseria kohti havaittua pistettä. Rungon ja peilin liike tapahtuu erittäin suurilla nopeuksilla, jolloin tiedonkeruun nopeus on jopa miljoona pistettä sekunnissa. (3dscan.it 2015.)



Kuvio 2. Aikaerolaserkeilain (3dscan.it 2015)

2.2 Vaihe-erolaser

Vaihe-erolaser lähettää jatkuvaa signaalia, jonka intensiteetti on moduloitu sini-aallolla tai jollain monimuotoisemmalla aaltomuodolla, jossa on useampia eri kantoaallonpituuksia. Vaihe-erolaserin toiminta perustuu kohteeseen lähetettäviin ja siitä takaisin heijastuviin signaaleihin, joiden vaihe-ero mitataan. Etäisyyshavainto voidaan määrittää hyödyntämällä vaihe-eroa ja ratkaistua kokonaisluku-tuntematonta. (Kukko 2005, 7.)



Kuvio 3. Vaihe-erolaserin toimintaperiaate (Kukko 2005)

Kolmiulotteinen näkemä saadaan muodostettua lähettämällä pulsseja eri suuntiin. Vaihe-erolaserin toistotaajuus on suuri, jopa 250 kHz. Pulssilaseriin verrattuna vaihe-erolaserin suurin mittausetäisyys on huomattavasti pienempi, tyypillisesti alle 100 metriä, mutta mittaustarkkuus suurempi. (Kukko 2005, 7.) Näin ollen vaihe-erolaserit ovat käyttökelpoisimpia lähellä olevien, yksityiskohtaisempien kohteiden mittauksissa (Holopainen, Hyyppä & Vastaranta 2013, 30).

3 MAALASERKEILAUS

Maalaserkeilaimella (Terrestrial Laser Scanner, TLS) tarkoitetaan yleensä kolmi-jalalle tulevaa laserkeilainta. Se on aktiivinen sensori, joka tuottaa itse energi-ansa, johon mitattavan kohteen havaitseminen ja mittaus perustuvat. Laserkei-laimella mitataan kohteiden kolmiulotteiset koordinaatit suunnattua laseretäisyys-mittausta käyttäen: suunta ja etäisyys mitataan, ja näiden perusteella lasketaan pisteen kolmiulotteinen sijainti. (Holopainen ym. 2013, 30.)

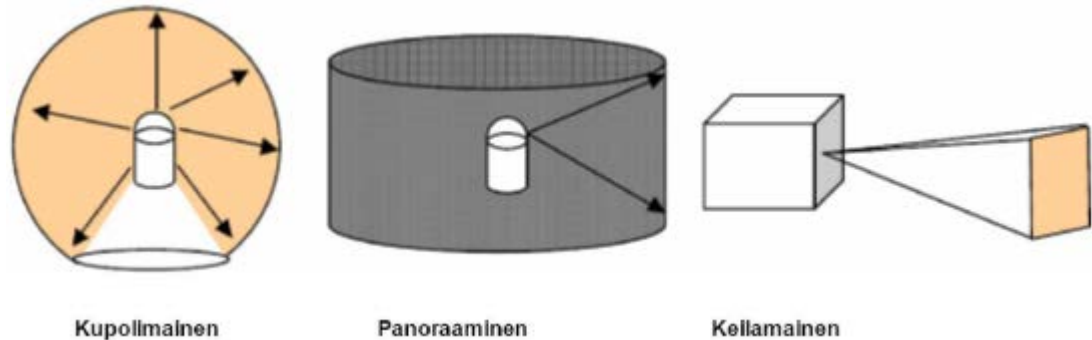
Maalaserkeilausjärjestelmään kuuluu itse keilain, pakkokeskistysalusta, jalusta, virtalähde sekä tietokone, mutta nykyisin mahdollisesti myös puhelin. Tietoko-netta ei kuitenkaan välttämättä tarvita, sillä monissa keilaimissa on sisäinen muisti, johon tietoa tallennetaan mittauksen aikana. (Holopainen ym. 2013, 30; Cronvall, ym. 2012, 16; Laaksonen & Vilhomaa 2011, 83.)



Kuvio 4. Erilaisia laserkeilaimia (Kukko 2005)

Maalaserkeilaimilla on erilaisia toimintaperiaatteita, joiden mukaan ne voidaan jakaa neljään eri päätyyppiin: kupolimaiseen, panoraamaiseen, keilamaiseen tai optiseen kolmiomittaukseen. Nykyisin enemmistö keilaimista on kupolimaisesti mittaavia. Niiden etuna on suuri mittausalue, ainoastaan pieni alue laitteen alta jää mittaamatta. Huonona puolena on ollut yksityiskohtaisten mittausten suoritta-minen jo yli 20 metriin. Kuitenkin useat laitteet pystyvät tarkentamaan mittausalu-etta pitkillekin matkoille, jolloin pistepilven tiheys ei juurikaan heikkene. Näissä tapauksissa ainoastaan mittausaika kasvaa. (Holopainen ym. 2013, 17–18.)

Muillakin eri keilaintyypeillä on omat hyvät ja huonot puolensa. Panoraamaisesti mittaavien keilainten rajoitteena on mitattava alue, koska niillä ei ole mahdollista mitata ylöspäin. Näin ollen ne eivät sovellu esimerkiksi tunneleiden tai rakennusten sisätilojen keilauksiin. Harvinaisin eli optinen kolmiomittaus taas on pisteenmittauksessa tarkka, mutta huonona puolena on lyhyt mittausetäisyys sekä suuret katvealueet muihin menetelmiin verrattuna. (Holopainen ym. 2013, 18.)



Kuvio 5. Laserkeilaimien tyyppejä (Holopainen ym. 2013)

Maalaserkeilainten todellinen mittausetäisyys perustuu useisiin tekijöihin, muun muassa ilmoitettuun mittausetäisyyteen, haluttuun pistetiheyteen, lasersäteen halkaisijaan kohteen pinnalla, laserin aallonpituuteen, yksittäisen mittauspisteen tarkkuuteen sekä kohteen pintamateriaaliin. Mittausmatkan kasvaessa mitattavasta kohteesta mittalaitteeseen palaava signaali heikkenee. Paluusignaalin voimakkuuteen vaikuttaa myös mitattavan kohteen pinnanmuoto, materiaali ja kaa-revuus. Esimerkiksi mittaussignaali palautuu eri tavalla maalipinnasta kuin asfaltista. Osa keilaimista tallentaa myös palautuvan signaalin voimakkuuden. Tämä voimakkuusarvo voidaan visuaalisesti mallintaa tietokoneella jokaisen pisteen kohdalla värierona. Tasomaiselta pinnalta voidaan myös erottaa erilaista tekstuuria hyväksi käyttäen paluusignaalin intensiteettiä. (Heiska 2010, 16; Cronvall, ym. 2012, 19.)

Nykyään osa maalaserkeilaimista on saavuttanut tavanomaisen takymetrin mit-taustarkkuuden. Vertaaminen on kuitenkin vaikeaa, sillä erinäisten sisäisten teki-jöiden, kuten laitteen komponenttien ja kulmamittaustarkkuuden lisäksi myös ar-kiset ulkoiset tekijät, kuten mittajaan osaamistaso vaikuttavat kokonaismittaustu-

lokseen. Laserkeilauksen mittaustarkkuuteen vaikuttavat myös mahdolliset näkyvyyttä heikentävät sääolosuhteet, kuten vesi- tai lumisade, pöly ja sumu. Lisäksi erilaiset lasersäteiden ennenaikaiset heijastumiset, absorboitumiset tai poikkeumat vaikuttavat mittaustuloksiin. Valaistusolosuhteet, kuten valoisuus tai varjoisuus, eivät vaikuta mittaukseen. (Heiska 2010, 17; Cronvall, ym. 2012, 11; Laaksonen & Vilhomaa 2011, 83.)

4 MOBIILIMITTAUS

4.1 Mobiilimittaus yleisesti

Tarkkaa ja nykyaikaista paikkatietoa tarvitaan tie- ja aluesuunnittelun lisäksi myös muihin asioihin, kuten liikennesuunnitteluun, melumallintamiseen, tieturvallisuuteen ja muun vastaavan suunnittelun tarpeisiin. Mobiilimittaus jakautuu kahden eri menetelmään datan keräämisen perusteella. Nämä päätyypit ovat stop-and-go -menetelmä ja jatkuva datan keräämisen menetelmä ajoneuvopohjaisella mobiiliskannerilla. (Kaartinen ym. 2013, 51.)

Stop-and-go-menetelmässä keilain voi olla ajoneuvoon integroitava keilain tai esimerkiksi peräkärryllä vedettävä keilainvaunu (Pekkala 2015, 14). Ajoneuvolla ajetaan tietty matka, jonka jälkeen pysähdytään ja suoritetaan keilaus kyseiseltä kohdalta. Tämä toistetaan niin usein kuin on tarpeen.

Ajoneuvopohjainen mobiililaserskannausjärjestelmä on monisensorin systeemi, joka yhdistää useita tiedonkeruu- ja navigaatiosysteemejä liikkuvalla alustalla. Tyypillisesti tällaiseen järjestelmään kuuluu GNSS-paikannin (Global Navigation Satellite System), IMU-järjestelmä (Inertial Measurement Unit), maalaserkeilaimet ja digitaalikamerat. (Kaartinen ym. 2013, 51.)

Ajon aikainen ajoneuvon kallistelu ei vaikuta x-, y-, z- koordinaattien tarkkuuteen inertia-laitteiston takia. Eri sensoreiden keskinäiset sijainnit keskipisteeseen nähden on määritetty suurella tarkkuudella inertialaittein. (Cronvall, Kråknäs & Turkka 2012, 14.)

Mobiililaserkeilauksen dataa pystytään tarkastelemaan seuraavilla parametreilla: a) pistetiheys kantaman arvolla 100–1000 pulssia neliömetrillä 10 metrin matkalla, b) etäisyysmittauksen tarkkuus 2–5 cm ja c) toiminnallinen skannausalue 1–100 m välillä. (Kaartinen ym. 2013, 51.)

Mobiililaserkeilauksen tuottaman datan määrä on valtava, ja tarvitsee automaattisia toimintoja manuaalisen työn vähentämiseksi 3D-mallintamisessa. Ilmakeilauksen ja mobiililaserkeilauksen tuottaman aineiston käsittelylle on olemassa omat ohjelmistot. Ohjelmisto, jolla näitä molempia pystyisi käsittelemään on kehitteillä. (Kaartinen ym. 2013, 51.)

4.2 Alasca-hankkeessa käytetty mobiilimittauslaitteisto

Hankkeessa käytettävä pistepilviaineisto on tuotettu Riegl Laser Measurement Systemsin mobiilikeilausjärjestelmällä, joka koostuu kahdesta Riegl Vux-1HA -laserkeilaimesta ja Applanix AP-60 inertia-GNSS -yksiköstä. Järjestelmään on mahdollista integroida esimerkiksi RGB-kameroita, mutta tässä tapauksessa niin ei oltu tehty. Laserkeilaimet ovat asennettu toisiinsa nähden kallistettuun v-asentoon, jolloin skannerin säteet peittävät tien pinnasta salmiakinmuotoisen kuvion, mistä johtuen pienimmätkin kohteet tallentuvat pistepilveen. (Suominen 2018.)



Kuvio 6. Riegl VMX-1HA -mobiililaserskanneri (Suominen 2018)

Kyseisen mobiililaserskannerin skannausnopeus on yli kaksi miljoonaa pistettä tai 500 poikkileikkausta sekuntia kohden. Laitteen pääasiallinen käyttö on tien

pinnan mallintaminen, mutta se pystyy laadukkaasti mallintamaan myös tien pinnan ulkopuoliset alueet kuten ojat, luiskat ja muut infrakohteet. Rieglin monipistemittaus tuottaa peitteisissä kohdissa, kuten pusikot ja muu kasvillisuus, useita peräkkäisiä mittauspisteitä lasersäteen etenemissuunnassa. Lisäksi Rieglin pisteiden paluukaiun muodon analyysiin perustuvassa pulssimittaustekniikassa ei keskiarvoisteta pisteitä, mistä johtuen mittaustarkkuus pysyy vakiona riippumatta lasersäteen osumiskulmasta kohteeseen. (Suominen 2018.)

Mitta-aineiston resoluutio (aineiston tiheys) 80km/h ajonopeudella yhden skannerin osalta on 89 millimetriä, joten kahden salmiakkikuvioon asennetun skannerin osalta poikkileikkausdatan resoluutio on keskimäärin 44 millimetriä. Mittauksen jälkeen aineisto jälkilaskennalla käsitellään halutun tarkkuuden saavuttamiseksi. Lopputuotoksena on yksityiskohtaisen mitatun tienpinnan muodon lisäksi poikittais- ja pitkittäiskallistumat. Pistepilviaineistosta on määritettävissä urien muodot, tarkka poikittais- ja pituuskallistuma ja tarkka tiegeometria. (Suominen 2018.)



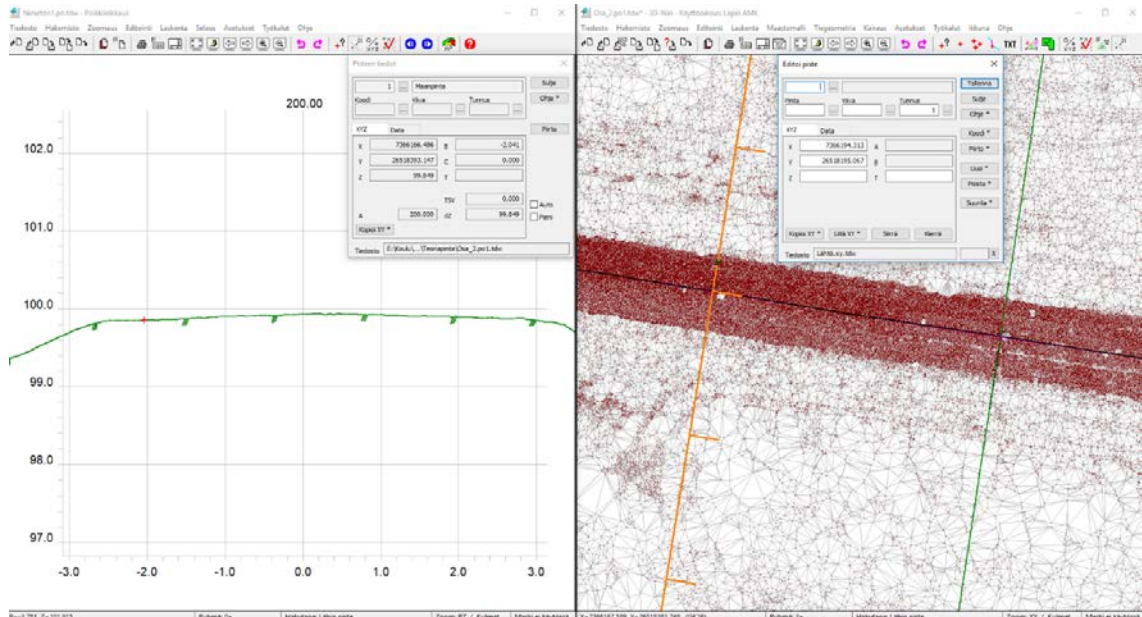
Kuvio 7. Tien pinta (Nevia 2018)

5 TAPAUS

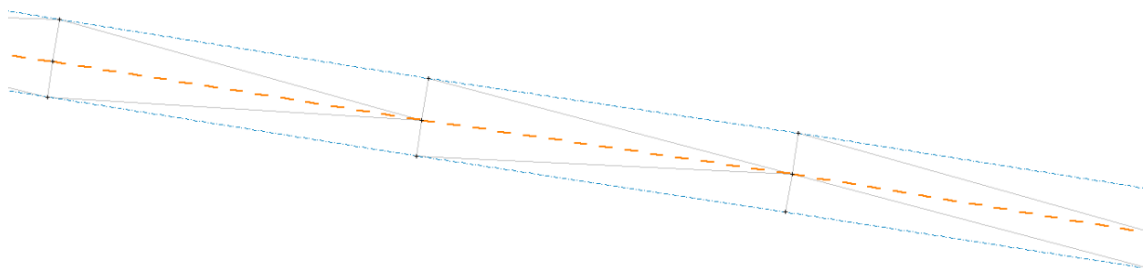
5.1 Referenssipinnan luominen

Opinnäytetyön suunnitelman mukaan aineistonkäsittelyn ensimmäinen työvaihe oli referenssipinnan luominen pistepilviaineistolle 3D-Win-ohjelmistolla. Tämä suoritettiin valitsemalla tien reunapistet 3D-näkymästä ja tekemällä niistä taiteviiva. Menetelmä oli melko helppokäyttöinen, tosin paikka paikoin reunaviivan tunnistaminen oli haastavaa. Lopputulos ei tyydyttänyt, koska erityisesti alkupäässä tiestä oli havaittavissa harjamaista profiilia.

Aikaisemmin luotu tasainen pinta ei kuvastanut parhaiten tieprofiilia, joten tien korkeimmat kohdat otettiin myös mukaan. Tätä varten laadittiin pistepilviaineistoon vaakageometria ja mittalinja 20 metrin välein, jonka jälkeen pistepilvi kolmioitiin. Tämän jälkeen tutkittiin maastomallin poikkileikkauksia. Maastomallin poikkileikkausten perusteella haettiin jokaiselle paalulle kaksi reunapistettä sekä tien korkein piste. Valitsemalla pisteen poikkileikkauksnäköymästä sama piste näkyi myös pistepilviaineistossa. Seurasi suuri mekaaninen työ, jossa jokaiselta paalulta poimittiin kolme tien pistettä erilliseen elementtiin ja luotiin taiteviivat pisteiden välille. Tämän jälkeen taiteviivojen rajaama alue kolmioitiin ja kolmiot käännettiin saman suuntaisiksi. Lisäksi pistepilviaineistosta leikattiin karkeasti ylimääräiset alueet pois. Aineiston laadunvarmistukseksi pinta kolmioitiin ja tutkittiin 3D-näkymässä yhdessä pistepilven kanssa. Tämä pinta seurasi pistepilven muotoja ja näin ollen lopputulos oli hyvä.



Kuvio 8. Pisteen kopiointi poikkileikkauksesta

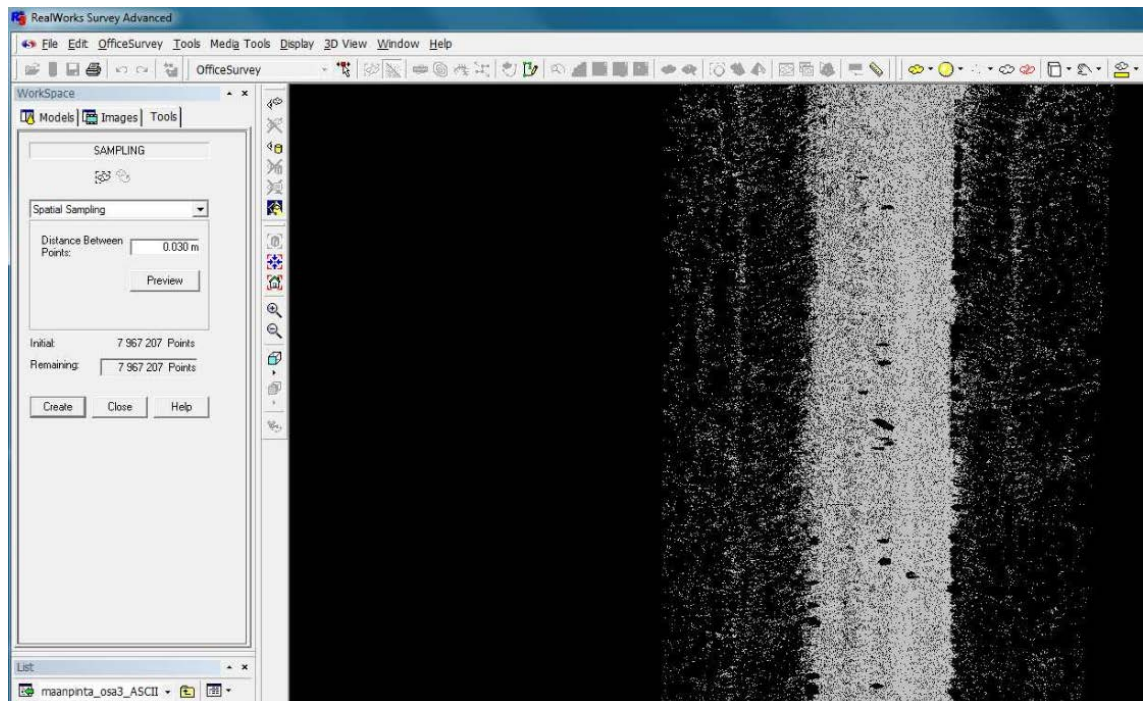


Kuvio 9. Referenssipinnan taiteviivojen kolmiointi ja kolmioiden editointi

5.2 Pistepilven harvennus ja rajaaminen

Pistepilviaineisto oli sidottu ETRS-GK26-koordinaattijärjestelmään ja N2000-korkeusjärjestelmään. Pistepilven harventaminen päädyttiin tekemään RealWorks Survey 6.4.-ohjelmistolla, koska 3D-Win-ohjelmiston kapasiteetti ei riittänyt harventamaan noin 9 miljoonan pisteen pistepilviaineistoa. Ennen pistepilven har-

ventamista aineisto kirjoitettiin 3D-Win-ohjelmistolla ascii-formaattiin. Tämä tehtiin, koska RealWorks-ohjelmisto tukee kyseistä formaattia. Lisäksi tässä formaatissa aineistoa ei tarvitse erikseen rekisteröidä monivaiheisella tavalla. Kun leikattu aineisto avattiin RealWorks-ohjelmistolla oikeassa formaatissa, sille suoritettiin harvennus Sampling-työkalulla. Harvennuksen pistetiheydeksi valittiin kolme senttimetriä eli pisteiden ruutukoko oli kolme senttimetriä. Toisin kuin oli suunniteltu, muita työvaiheita ei tehtykään RealWorks-ohjelmistolla. Tämä johtui siitä, että käytössä oli niin vanha versio kyseisestä ohjelmistosta (uusin versio kirjoitushetkellä 10.4), jossa ei ollut kaikkia tarvittavia työkaluja tai kapasiteettia.

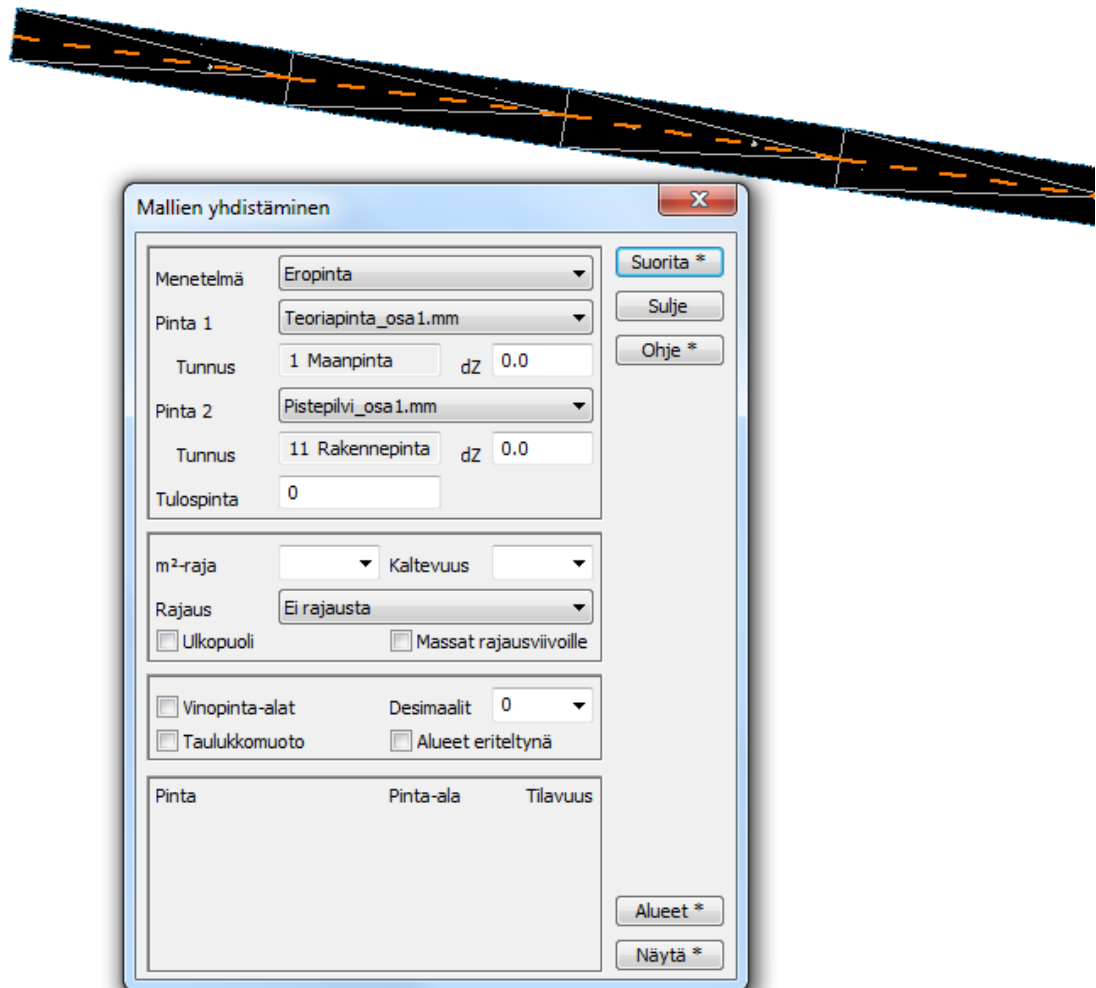


Kuvio 10. Pistepilven harvennus RealWorks Survey-ohjelmistolla

5.3 Uraisuutta kuvaavan vertailumallin luominen

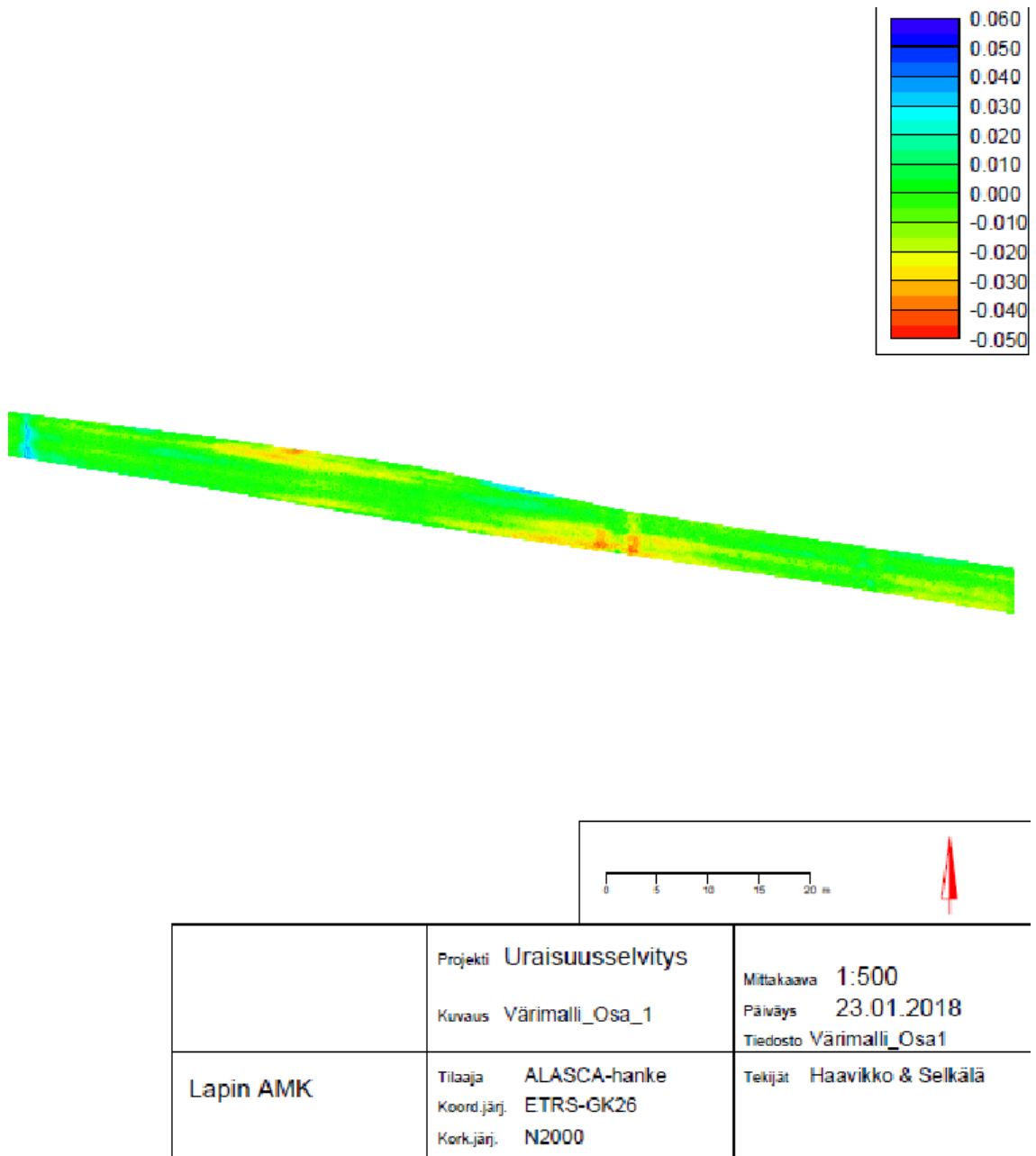
RealWorks-ohjelmiston rajoitusten vuoksi päädyttiin tekemään pintojen vertailu 3D-Win-ohjelmistolla. 3D-Win-ohjelmiston maastomalli-alasvetovalikossa oli kahden maastomallin yhdistämistoiminto, joka eropinta-valinnalla kuvasti mallien keskinäiset korkeuserot värimallina. Hae-toiminto määrittä poikkeamien ääriarvot pintojen välillä ja määrittä värimallin asteikon sen perusteella. Värimalliin lisättiin vielä 3d_project.tit -otsikkotiedosto, josta poistettiin ylimääräiset elementit, kuten

massalaskenta. Kyseinen otsikkotiedosto valittiin, koska siinä oli elementti korkeuserojen värien ja skaalauksien selitteelle, mikä oli oleellinen värimallin kuvastavuuden kannalta.



Kuvio 11. Referenssipinnan ja kolmioidun pistepilven yhdistäminen eropinta-menetelmällä

Aineiston suuren koon ja ohjelmiston suorituskyvyn vuoksi päädyttiin tekemään värimallit 200 metrin osissa. Tällä matkalla värimalleja tuli yhteensä 12 kappaletta. Värimallit ovat pdf- ja png-muodoissa.



Kuvio 12. Valmiin tuotoksen osa

Hankkeen sidosryhmän toiveesta tehtiin tielle mittalinja 10 metrin paaluvälein, jossa joka paalulla oli koordinaattitieto ja samalta kohdalta uraisuusarvo. Lisäksi uraisuusarvot otettiin 1,5 metriä jokaiselta paalulta alku- ja loppupaalua kohti. Uraisuusarvoon huomioitiin ensisijaisesti negatiiviset arvot. Esimerkiksi jos eropintamallissa oli tien keskilinjan toisella puolella positiivinen ja toisella puolella negatiivinen arvo, huomioitiin vain negatiivinen arvo. Paalujen koordinaattitiedot ja uraisuusarvot (yksikkö metri) taulukoitiin Excel-taulukkolaskentaohjelmistolla ja ne löytyvät liitteestä 1. Tätä aineistoa sidosryhmä vertasi toisella menetelmällä (RoadScanners) tuotetun aineiston vastaavaan arvoon.

5.4 Laadunvarmistus

Laadunvarmistuksen osuus oli pistepilven pisteiden korkeuden vertaaminen alueelle tarkkavaaittujen kontrollipisteiden korkeusarvoon. Tarkkavaaittuja pisteitä oli yhteensä 14, joiden mittaamisesta vastasivat kolmannen vuoden maanmittausalan opiskelijat. Tarkkavaaitus suoritettiin suljettuna jonovaaaituksena alkaen VRS-mittauksella määritetyltä apupisteeltä AP1 ja päättyen apupisteeseen AP14. Sen jälkeen palattiin pisteiden 12, 11, 4 ja 1 kautta takaisin lähtöpisteelle AP1. Kojeen ja latan etäisyys oli korkeintaan 50 metriä. Tarkkavaaituskojeena oli Topcon DL-101C. Tarkkavaaituksen sulkuvirhe neljän kilometrin matkalta oli jälkilaskennassa 6,6 mm. Tarkkavaaitusraportti ja vaaituskirja löytyvät liitteestä 2.

3D-Win ohjelmassa poimittiin jokaisen vaaitun pisteen ympäriltä kolme lähintä pistettä (A1, A2 ja A3) NordicGeoCenterin pistepilviaineistosta. Näiden pisteiden korkeutta verrattiin vaaitun pisteen korkeuteen (AP) ja kyseinen toiminta taulukoi-tiin Excel-taulukkolaskentaohjelmassa (AP-A). Pistepilven pisteistä otettiin myös absoluuttisen etäisyyden eromitat (dXY) tarkkavaaittuihin pisteisiin ja liitettiin samaan taulukkoon.

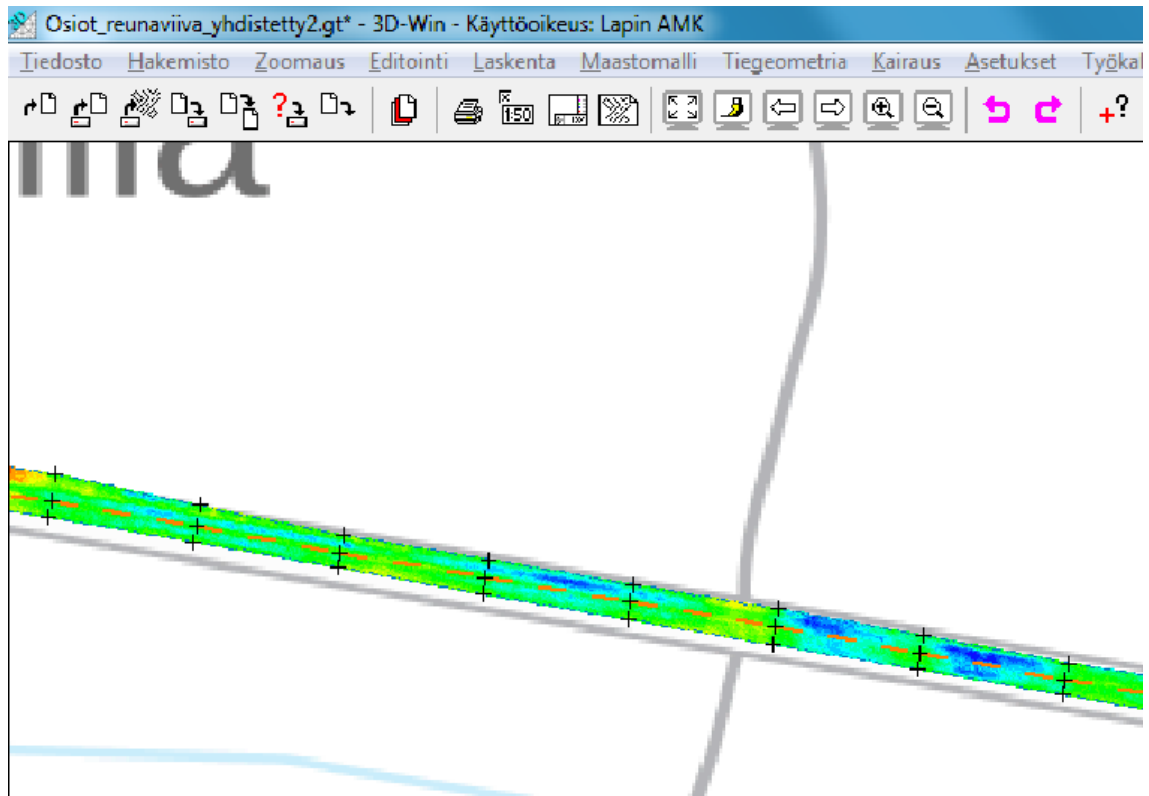
Taulukko 1. Vaaituspisteiden vertaaminen pistepilviaineiston pisteisiin

ETRS-GK26 N2000	A1		A2		A3		AP	AP-A1	AP-A2	AP-A3
	sivumitta (m)	z(m)	sivumitta (m)	z(m)	sivumitta (m)	z(m)	z(m)	z(m)	z(m)	z(m)
AP1	0.043	99.359	0.029	99.365	0.029	99.369	99.363	0.004	-0.002	-0.006
AP2	0.035	101.144	0.048	101.133	0.009	101.139	101.136	-0.008	0.003	-0.003
AP3	0.023	101.097	0.036	101.109	0.042	101.111	101.101	0.004	-0.008	-0.010
AP4	0.061	101.406	0.071	101.424	0.107	101.410	101.413	0.007	-0.011	0.003
AP5	0.033	101.419	0.042	101.415	0.024	101.421	101.416	-0.003	0.001	-0.005
AP6	0.051	101.171	0.030	101.168	0.052	101.168	101.169	-0.002	0.001	0.001
AP7	0.045	101.113	0.023	101.116	0.053	101.113	101.105	-0.008	-0.011	-0.008
AP8	0.026	100.495	0.034	100.488	0.032	100.495	100.485	-0.010	-0.003	-0.010
AP9	0.039	101.311	0.029	101.313	0.009	101.313	101.313	0.002	0	0
AP10	0.089	101.417	0.085	101.417	0.069	101.419	101.428	0.011	0.011	0.009
AP11	0.052	102.903	0.019	102.900	0.025	102.900	102.898	-0.005	-0.002	-0.002
AP12	0.019	106.896	0.051	106.896	0.026	106.894	106.888	-0.008	-0.008	-0.006
AP13	0.080	106.935	0.077	106.936	0.045	106.935	106.945	0.010	0.009	0.010
AP14	0.035	108.748	0.029	108.750	0.040	108.750	108.753	0.005	0.003	0.003

5.5 Havainnot

Jotkin eropintamallissa olevat siniset alueet johtuvat referenssipinnan profiilista. Referenssipinnan 20 metrin välein otetut pisteet paikka paikoin sattuvat juuri sillä

tavalla, että eniten poikkeamaa omaavat kohdat korostuvat selvästi luodusta referenssipinnasta. Tämän olisi mahdollisesti voinut välttää tihentämällä paaluvälejä esimerkiksi 10 metriin, mutta silloin kokonaisuus olisi vääristynyt. Eropinnan luomisen tarkoituksena oli alun perinkin vain referenssipinnasta poikkeavien negatiivisten arvojen eli uraisuuden selvittäminen.



Kuvio 13. Eropintamallin kohoumien selitys

Eropintamallin luomiseen olisi ollut olemassa paremmin soveltuvia pistepilvenkäsittelyohjelmia, mutta valitettavasti niitä ei saatu käyttöön. Esimerkiksi RealWorks Survey-ohjelmiston viimeisimmissä versiossa olisi ollut mahdollista muokata eropintamallin arvojen väriskaalaa halutulla tavalla, mikä ei onnistunut käytössä olleessa 6.4-versiossa. Myös TerraScan-ohjelmisto vaikutti lupaavalta esimerkkimallinnusten perusteella, mutta tiukasta aikataulusta johtuen, ohjelmistoa ei ollut mahdollista ottaa käyttöön.

6 POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä NordicGeoCenter Oy:n mobiiliskannerilla mittaamasta aineistosta tien uraisuutta kuvaava eropintamalli. Aineistolle tuli tehdä myös laadunvarmistustoimenpiteitä, joissa pistepilven yksittäisiä pisteitä verrattiin alueella tarkkavaaittuihin korkeuspisteisiin. Opinnäytetyöhön kuuluu uraisuusselvityksen lisäksi aihetta ja menetelmiä pohjustava teoriaosuus sekä pohdintaosio.

Alasca-hankkeen lähtökohtana oli hakea kustannustehokkaita ratkaisuja tien kunnossapitoon ja laadunvalvontaan. Mobiilimittausmenetelmä, jolla pistepilviaineisto mitattiin, on kustannustehokas, mutta vaatii asiaan erikoistuneen yrityksen, isoja investointeja ja paljon tietotaitoa. Lisäksi mobiilimittauksen, VRS-RTK-laskennan ja aineistonkäsittelyn ohjelmistojen lisenssit lisäävät kustannuksia.

Aineistonkäsittelyssä olisi haluttu jättää nollatasoa korkeammat kohdat pois, sillä tien eropintamallissa kiinnosti lähinnä nollatason alapuolella olevat kohdat, eli urat. Tätä ei kuitenkaan pystytty tekemään 3D-Win-ohjelmistolla, koska se olisi jättänyt piirtämättä nollatason yläpuoliset alueet, jolloin värimalli olisi ollut aukkoinen. Nollatason yläpuoliset alueet olisi todennäköisesti pystynyt jättämään pois muilla pistepilviaineistonkäsittely-ohjelmilla, joilla olisi myös voinut muokata muun muassa väriskaalan asteikkoa. Kuitenkaan eropintamalli itsessään ei välttämättä olisi ollut parempi, eikä se olisi ollut edes mahdollista aikataulullisista syistä. Toisaalta, mitä useammalla ohjelmalla aineistoa käsittelee ja mitä useampaan eri formaattiin aineiston muuttaa, sitä enemmän se vaikuttaa aineiston laatuun. Tässä tapauksessa kaikki muu harvennusta lukuun ottamatta tehtiin 3D-Win-ohjelmistolla.

NordicGeoCenter Oy:ltä saaman aineiston luotettavuutta heikensi loppusyksyn sateiset olosuhteet, joissa tien urat olivat täynnä vettä. Urista ajettaessa vesi roiskui ja peitti mobiilikeilaimen lasersäteiden pääsyä tienpintaan. Näin ollen pistepilvessä oli urien läheisyydessä aukkoja.

Opinnäytetyön tekemisessä haastavaa oli aikaisemman kokemuksen puuttuminen eropintamallien teosta, ja näin ollen piti selvittää menetelmiä ja mukautua muutoksiin. Erityisesti ohjelmistojen lisenssien saatavuuden kanssa oli haasteita. Opinnäytetyön aikana huomasin sen, mikä ero on ihanne-esimerkkimallin ja todellisen mallin luomisen välillä.

Opinnäytetyön aikana koetut haasteet hidastivat työn kulkua. Ensinnäkin hankkeelta määrätty aikataulu mittauksen osalta oli liian tiukka. Ohjelmistojen lisenssiasiat olisi pitänyt selvittää hyvissä ajoin ennen pistepilviaineiston käsittelyn aloittamista, mutta aikataulusta johtuen työt piti aloittaa välittömästi käytössä olleilla ohjelmistoilla. Ihannetilanteessa olisi saatu laatia itse opinnäytetyölle aikataulu, jossa olisi voitu ottaa huomioon esimerkiksi työn edistymistä hidastaneet sairasteluista ja matkusteluista johtuvat poissaolot.

Hankkeesta vastaavilta olisi toivottu hieman parempaa yhteydenpitoa ja tarkempaa ohjeistusta tapauksen läpivientiin. Hankkeelta kaivattiin esimerkiksi tarkkaa ohjeistusta siitä, millainen tuotos rakenteeltaan ja muotoilultaan vaaditaan. Onneksi kuitenkin ohjaavilta opettajilta saatiin paljon hyviä neuvoja edellä mainittuihin asioihin liittyen. Lisäksi olisi ollut toivottavaa, että myös sidosryhmät olisivat pysyneet ennalla määrättyssä aikataulussa. Määräajan jälkeinen aineistonpyytäminen vaikutti myöhempään opinnäytetyön edistymiseen hidastavasti.

Kaikki edellytetyt tuotokset saatiin tehtyä määräaikaan mennessä. Työn valmistumista uhkaavista ongelmista, kuten aineistonkäsittelyn haasteista, selvittiin kunnialla. Opinnäytetyöhön konsultoitin paljon maanmittausalan asiantuntijoita, kuten 3D-Win-ohjelmiston ylläpitäjää. Kaiken kaikkiaan työhön oltiin tyytyväisiä.

LÄHTEET

3DScan.it. 2015. How does it work a 3D Laser Scanner?. Viitattu 21.2.2018 <http://www.3dscan.it/en/blog/how-does-it-work-a-3d-laser-scanner/>.

AutomationWorld 2014. Pepperl+Fuchs introduces the R2000 Detection Laser Scanner. Viitattu 21.2.2018 <https://www.automationworld.com/article/new-compact-r2000-detection-laser-scanner-leverages-true-time-flight-technology-and-delivers>.

Cronvall, T., Kråknäs, P. & Turkka, T. 2012. Laserkeilauksen käyttö liikennetunneleiden kunnossapidon hallinnassa. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä. Viitattu 21.2.2018 https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf3/lts_2012-41_laserkeilauksen_kaytto_web.pdf.

Heiska, N. 2010. Maalaserkeilaimet ovat kehittyneet geodeettisiksi mittauslaitteiksi. Maankäyttölehti 4/2010, 15–17. Viitattu 21.2.2018 http://www.maankaytto.fi/arkisto/mk410/mk410_1415_heiska.pdf.

Holopainen, M., Hyypä, J. & Vastaranta, M. 2013. Laserkeilaus metsävarojen hallinnassa. Helsingin yliopiston metsätieteiden laitoksen julkaisuja 5. Viitattu 21.2.2018 https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/42935/Laserkirja_painettu.pdf?sequence=2.

Kaartinen, H., Hyypä, J., Kukko, A., Lehtomäki, M., Jaakkola, A., Vosselman, G., Elberink, S., Rutzinger, M., Pu, S., & Vaaja, M. 2013. Mobile mapping – Road environment mapping using mobile laser scanning. European spatial data research. Viitattu 21.2.2018 http://www.eurosdrr.net/sites/default/files/uploaded_files/62_1.pdf.

Kukko, A. 2005. Laserkeilaimen valinta lähifotogrammetrisiin mittaustehtäviin. Viitattu 21.2.2018 https://foto.aalto.fi/opetus/290/julkaisut/Antero_Kukko/Laserkeilaimen_valinta_lahifotogrammetrisiin_mittauksiin.pdf.

Laaksonen, H. & Vilhomaa, J. 2011. Valtakunnallinen laserkeilaus -testityöstä tuotantoon. Maanmittauslaitos. Viitattu 21.2.2018 https://foto.aalto.fi/seura/julkaisut/pjfpjfpj_e/2011/PJF2011_3_Vilhomaa_Laaksonen.pdf.

Lapin liitto. AIKO-hankelomake. Viitattu 23.2.2018 http://www.lappi.fi/c/document_library/get_file?folderId=132624&name=DLFE-32006.pdf.

Nevia 2018. Palvelutasomittaus. Viitattu 21.2.2018 <https://www.nevia.fi/mittaukset/palvelutasomittaus/>.

Pekkala, J. 2015. 3D-laserkeilausaineiston hyödyntäminen inframallintamisen yhteydessä ja sen lopputuotteen laadun varmistaminen. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä. Viitattu 21.2.2018 https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lts_2015-58_3d-laserkeilausaineiston_web.pdf.

Suominen, T. 2018. NordicGeoCenter Oy. Projektipäällikön haastattelu sähköpostilla. 12.2.2018.

LIITTEET

- Liite 1. Uraisuusarvokoordinaattilista
- Liite 2. Tarkkavaaitusraportti R1 ja vaaituskirja

Uraisuusarvokoordinaattilista

Liite 1

Paaluluku	X	Y	Uraisuusarvo paalulla	Uraisuusarvo paalu-1.5m	Uraisuusarvo paalu+1.5m
0	7366194.311	26518195.078	0		0
10	7366192.838	26518204.969	-0.030	-0.030	-0.030
20	7366191.366	26518214.847	0.010	0	0.010
30	7366190.000	26518224.766	-0.010	-0.010	-0.020
40	7366188.636	26518234.672	-0.025	-0.025	-0.025
50	7366187.087	26518244.552	0	0	0
60	7366185.538	26518254.431	-0.025	-0.020	-0.020
70	7366184.102	26518264.327	-0.020	-0.020	-0.020
80	7366182.665	26518274.224	-0.020	-0.010	-0.020
90	7366181.174	26518284.112	-0.020	-0.010	-0.020
100	7366179.683	26518294.000	0	-0.010	0.040
110	7366178.161	26518303.884	-0.020	-0.020	-0.020
120	7366176.639	26518313.767	-0.025	-0.020	-0.030
130	7366175.035	26518323.638	-0.030	-0.030	-0.025
140	7366173.432	26518333.508	-0.020	-0.025	-0.020
150	7366171.948	26518343.398	-0.030	-0.030	-0.030
160	7366170.464	26518353.287	-0.035	-0.050	-0.050
170	7366169.011	26518363.181	-0.020	-0.020	-0.020
180	7366167.558	26518373.075	-0.015	-0.015	-0.015
190	7366165.903	26518382.937	-0.020	-0.020	-0.020
200	7366164.248	26518392.799	-0.010	-0.020	-0.010
210	7366162.832	26518402.698	0.010	0.010	0.010
220	7366161.415	26518412.597	-0.020	-0.020	-0.020
230	7366159.772	26518422.461	-0.020	-0.020	-0.020
240	7366158.129	26518432.325	-0.010	-0.010	0.010
250	7366156.492	26518442.191	0.040	0.040	0.040
260	7366154.856	26518452.056	-0.010	0	-0.020
270	7366153.260	26518461.928	-0.050	-0.040	-0.040
280	7366151.665	26518471.800	-0.010	-0.030	-0.020
290	7366150.223	26518481.695	-0.020	-0.020	-0.020
300	7366148.781	26518491.591	-0.015	-0.015	-0.015
310	7366147.217	26518501.467	0.010	0.010	0.010
320	7366145.652	26518511.344	-0.020	-0.020	-0.010
330	7366144.213	26518521.240	0.020	0.020	0.020
340	7366142.774	26518531.132	-0.010	-0.010	-0.010
350	7366141.142	26518541.002	-0.030	-0.030	-0.030
360	7366139.511	26518550.868	-0.020	-0.020	-0.010
370	7366137.882	26518560.735	-0.010	-0.020	-0.010
380	7366136.253	26518570.601	-0.020	-0.020	-0.020
390	7366134.646	26518580.471	-0.010	-0.010	-0.010
400	7366133.039	26518590.341	0	-0.025	-0.020
410	7366131.801	26518600.264	-0.020	-0.030	-0.030
420	7366130.563	26518610.187	0	0	0
430	7366129.074	26518620.076	0	0	0
440	7366127.584	26518629.965	0	0	0

450	7366126.061	26518639.847	0	0	0
460	7366124.537	26518649.732	0	0	0
470	7366122.980	26518659.609	-0.030	-0.020	-0.020
480	7366121.422	26518669.488	-0.020	-0.020	-0.030
490	7366119.866	26518679.365	-0.050	-0.040	-0.050
500	7366118.310	26518689.243	-0.030	-0.040	-0.040
510	7366116.588	26518699.094	-0.030	-0.030	-0.020
520	7366114.867	26518708.944	0.030	0.030	0.030
530	7366113.324	26518718.825	0.030	0.030	0.030
540	7366111.782	26518728.705	0	0	-0.010
550	7366110.105	26518738.563	0	0	-0.010
560	7366108.428	26518748.422	-0.010	-0.020	-0.010
570	7366107.101	26518758.333	-0.010	0	-0.020
580	7366105.774	26518768.245	-0.030	-0.030	-0.040
590	7366104.269	26518778.131	-0.050	-0.060	-0.040
600	7366102.763	26518788.017	-0.010	0	-0.030
610	7366101.144	26518797.885	-0.060	-0.060	-0.050
620	7366099.526	26518807.753	-0.010	-0.020	-0.010
630	7366097.971	26518817.632	0	0	0
640	7366096.416	26518827.510	-0.010	-0.010	-0.010
650	7366094.979	26518837.406	-0.010	0	-0.020
660	7366093.543	26518847.302	-0.020	-0.020	-0.020
670	7366091.930	26518857.172	-0.020	-0.030	-0.020
680	7366090.318	26518867.041	0	-0.020	-0.010
690	7366088.779	26518876.922	-0.030	-0.030	-0.030
700	7366087.240	26518886.803	-0.020	-0.020	-0.020
710	7366085.588	26518896.665	-0.020	-0.030	-0.030
720	7366083.936	26518906.528	-0.020	-0.020	-0.020
730	7366082.385	26518916.407	-0.030	-0.030	-0.030
740	7366080.835	26518926.286	-0.020	-0.020	-0.020
750	7366079.318	26518936.170	0.020	0.020	0.020
760	7366077.800	26518946.054	-0.010	0	-0.010
770	7366076.458	26518955.964	-0.020	-0.010	-0.020
780	7366075.116	26518965.873	-0.030	-0.030	-0.040
790	7366073.585	26518975.755	-0.040	-0.050	-0.040
800	7366072.053	26518985.637	-0.040	-0.040	-0.040
810	7366070.320	26518995.486	-0.040	-0.040	-0.040
820	7366068.586	26519005.334	-0.020	-0.020	-0.020
830	7366066.928	26519015.196	0.010	0	0.010
840	7366065.271	26519025.058	-0.010	-0.010	-0.020
850	7366063.719	26519034.937	-0.020	-0.020	-0.030
860	7366062.167	26519044.816	-0.010	-0.010	-0.010
870	7366060.529	26519054.681	0.010	0.010	0
880	7366058.891	26519064.545	-0.020	-0.030	-0.020
890	7366057.341	26519074.425	-0.050	-0.050	-0.050
900	7366055.790	26519084.304	-0.020	-0.040	-0.030
910	7366054.379	26519094.203	-0.020	-0.020	-0.020

920	7366052.967	26519104.103	-0.030	-0.030	-0.040
930	7366051.596	26519114.009	-0.040	-0.030	-0.050
940	7366050.224	26519123.914	-0.020	-0.040	-0.010
950	7366048.586	26519133.779	-0.020	-0.020	-0.020
960	7366046.948	26519143.644	-0.020	-0.020	-0.020
970	7366045.342	26519153.514	-0.040	-0.040	-0.040
980	7366043.737	26519163.385	-0.010	-0.010	-0.010
990	7366042.206	26519173.267	-0.010	-0.010	-0.020
1000	7366040.676	26519183.149	-0.020	-0.020	-0.020
1010	7366039.166	26519193.034	-0.010	-0.010	-0.010
1020	7366037.656	26519202.920	-0.020	-0.020	-0.020
1030	7366036.026	26519212.786	-0.040	-0.040	-0.040
1040	7366034.396	26519222.652	-0.020	-0.020	-0.020
1050	7366032.805	26519232.525	-0.020	-0.020	-0.010
1060	7366031.214	26519242.398	-0.020	-0.020	-0.010
1070	7366029.680	26519252.279	-0.010	-0.010	-0.010
1080	7366028.146	26519262.161	-0.020	-0.020	-0.020
1090	7366026.642	26519272.047	0	0	-0.010
1100	7366025.144	26519281.934	-0.020	-0.010	-0.020
1110	7366023.690	26519291.828	-0.030	-0.020	-0.030
1120	7366022.244	26519301.723	-0.030	-0.030	-0.030
1130	7366020.561	26519311.580	-0.040	-0.040	-0.040
1140	7366018.836	26519321.430	-0.020	-0.010	-0.020
1150	7366017.376	26519331.322	-0.030	-0.030	-0.030
1160	7366015.963	26519341.222	-0.030	-0.030	-0.030
1170	7366014.340	26519351.089	-0.020	-0.020	-0.020
1180	7366012.680	26519360.950	-0.030	-0.030	-0.030
1190	7366011.151	26519370.832	-0.010	-0.020	-0.020
1200	7366009.646	26519380.718	-0.020	-0.020	-0.020
1210	7366008.102	26519390.598	-0.050	-0.040	-0.050
1220	7366006.550	26519400.477	-0.010	-0.020	0
1230	7366004.982	26519410.354	0	0	0
1240	7366003.412	26519420.229	0	0	0
1250	7366001.865	26519430.109	-0.020	-0.010	-0.020
1260	7366000.322	26519439.989	-0.040	-0.040	-0.040
1270	7365998.896	26519449.887	-0.030	-0.040	-0.020
1280	7365997.492	26519459.788	0	0	0
1290	7365995.941	26519469.667	-0.020	-0.020	-0.020
1300	7365994.363	26519479.541	-0.020	-0.020	-0.020
1310	7365992.805	26519489.419	-0.010	-0.010	-0.010
1320	7365991.251	26519499.298	0	0	0
1330	7365989.632	26519509.166	-0.010	-0.010	-0.020
1340	7365988.002	26519519.032	0	0	0
1350	7365986.458	26519528.912	-0.030	-0.030	-0.030
1360	7365984.929	26519538.795	-0.010	-0.020	-0.010
1370	7365983.374	26519548.673	0.010	0.010	0.010
1380	7365981.815	26519558.551	-0.020	-0.020	-0.020

1390	7365980.262	26519568.429	0.020	0.020	0.020
1400	7365978.711	26519578.308	-0.020	-0.010	-0.030
1410	7365977.172	26519588.189	-0.020	-0.020	-0.020
1420	7365975.635	26519598.070	-0.020	-0.020	-0.020
1430	7365974.184	26519607.964	0	0	-0.020
1440	7365972.749	26519617.861	-0.010	-0.010	-0.010
1450	7365971.179	26519627.737	0	0	0
1460	7365969.586	26519637.609	0	0	0
1470	7365968.060	26519647.492	-0.010	0	-0.030
1480	7365966.547	26519657.377	-0.030	-0.030	-0.010
1490	7365965.146	26519667.278	-0.030	-0.030	-0.020
1500	7365963.638	26519677.163	0.020	0.010	0.030
1510	7365961.958	26519687.020	-0.020	-0.010	-0.020
1520	7365960.371	26519696.893	-0.070	-0.060	-0.070
1530	7365958.911	26519706.786	-0.050	-0.060	-0.050
1540	7365957.424	26519716.675	-0.020	-0.020	-0.040
1550	7365955.899	26519726.558	0.040	0.040	0.040
1560	7365954.320	26519736.432	0	-0.010	0
1570	7365952.668	26519746.295	0.010	0.010	0.010
1580	7365951.080	26519756.167	-0.020	-0.020	-0.030
1590	7365949.580	26519766.054	0	0	0
1600	7365948.074	26519775.940	0.040	0.040	0.040
1610	7365946.558	26519785.825	0.040	0.040	0.040
1620	7365945.047	26519795.710	-0.020	-0.010	-0.020
1630	7365943.542	26519805.596	-0.040	-0.040	-0.040
1640	7365941.978	26519815.473	0.030	0.010	0.030
1650	7365940.334	26519825.337	0.030	0.030	0.020
1660	7365938.682	26519835.199	0.050	0.040	0.060
1670	7365937.020	26519845.060	0.040	0.040	0.030
1680	7365935.453	26519854.936	-0.030	-0.020	-0.030
1690	7365934.013	26519864.832	-0.020	-0.020	-0.020
1700	7365932.485	26519874.714	-0.030	-0.020	-0.050
1710	7365930.836	26519884.577	-0.040	-0.040	-0.060
1720	7365929.274	26519894.454	-0.050	-0.040	-0.060
1730	7365927.829	26519904.349	-0.030	-0.040	-0.030
1740	7365926.328	26519914.235	-0.020	-0.020	-0.020
1750	7365924.748	26519924.109	-0.040	-0.050	-0.030
1760	7365923.207	26519933.990	-0.020	-0.020	-0.020
1770	7365921.717	26519943.878	-0.010	-0.010	-0.010
1780	7365920.229	26519953.767	0	0	-0.010
1790	7365918.744	26519963.656	-0.010	-0.010	-0.010
1800	7365917.261	26519973.546	-0.020	-0.020	-0.020
1810	7365915.781	26519983.435	-0.060	-0.060	-0.040
1820	7365914.341	26519993.331	-0.030	-0.020	-0.040
1830	7365912.959	26520003.235	-0.050	-0.050	-0.040
1840	7365911.401	26520013.111	-0.040	-0.040	-0.040
1850	7365909.603	26520022.948	-0.030	-0.040	-0.020

1860	7365907.872	26520032.797	-0.020	-0.020	-0.020
1870	7365906.234	26520042.661	0.010	0.010	0.010
1880	7365904.680	26520052.539	-0.020	-0.020	-0.030
1890	7365903.239	26520062.435	-0.020	-0.030	-0.020
1900	7365901.787	26520072.329	-0.020	-0.020	-0.020
1910	7365900.319	26520082.221	-0.020	-0.020	-0.020
1920	7365898.826	26520092.108	-0.020	-0.020	0
1930	7365897.090	26520101.957	0	0	0
1940	7365895.390	26520111.810	-0.010	-0.030	-0.010
1950	7365894.032	26520121.718	-0.040	-0.030	-0.040
1960	7365892.646	26520131.621	-0.020	-0.020	-0.020
1970	7365890.986	26520141.482	-0.020	-0.020	-0.020
1980	7365889.326	26520151.343	0	0	0.020
1990	7365887.667	26520161.205	0.030	0.030	0.030
2000	7365886.025	26520171.069	-0.010	-0.010	-0.020

Tarkkavaaitusraportti R1 ja vaaituskirja

Liite 2

Jani Männistö
Valtteri Olkkonen
Tuomo Toivanen
Hannu Leppikorpi

Raportti 1 (3)
Kartoitus- ja suunnitteluhankkeet

26.10.2017

Tarkkavaaitus	Tarkkavaaitus suoritettiin uudelleen luotujen apupisteiden korkeuden varmistamiseksi. Vaaitus suoritettiin suljettuna jonovaaituksena.
Mittaus	<p>Mittaus aloitettiin apupisteeltä AP1. Mittasimme menomatkalta kaikki pisteet (AP1-AP14). Takaisin tulomatalla vaaitsimme pisteet 12, 11, 4 ja 1. Vaaitus suljettiin pisteelle AP1. Kojeen ja latan välimatkana käytimme enintään 50 metriä, kuitenkin eteen ja taakse havainnot olivat jokaiselta kojeasemalta yhtä pitkät. Vaaitus kojeenamme oli <u>Topcon DL-101C-tarkkavaaituskoje</u>.</p> <p>Vaaitusmatka kokonaisuudessaan oli noin neljä kilometriä. Aikaa vaaitukseen meni noin neljä tuntia. Koululla suoritettussa jälkilaskennassa sulkuvirheeksi saimme 6,6 mm. Lopuksi suoritimme sulkuvirheen tasoituksen.</p>
Päätelmä	<p>Mittauksen alussa koje ei saanut mitattua latan lukemaa ja ilmoitti virheistä error71 ja error70. Oletamme virheiden johtuvan liian pitkästä välimatkasta tai huonosta linssin tarkennuksesta. Olemme erittäin tyytyväisiä saadusta tuloksestamme neljän kilometrin matkalla.</p> <p>Vaaituksen tulokset raportin lopussa.</p>

Jani Männistö
Jani Männistö

2 (3)



	taakse	eteen	ΔH	99,363	korjaus	tasoitettu korkeus
AP1						
vp	1,87285	0,90975	0,96310	100,32610		
vp	1,72910	0,99374	0,73536	101,06146		
AP2	1,10795	1,03321	0,07474	101,13620	-0,0002727	101,13593
AP3	1,45034	1,48601	-0,03567	101,10053	-0,0004091	101,10012
vp	1,48601	1,21765	0,26836	101,36889		
vp	1,38549	1,28369	0,10180	101,47069		
AP4	1,44002	1,49769	-0,05767	101,41302	-0,0009545	101,41207
AP5	1,37893	1,37637	0,00256	101,41558	-0,0010909	101,41449
vp	1,37637	1,60813	-0,23176	101,18382		
vp	1,46233	1,44339	0,01894	101,20276		
vp	1,51630	1,49245	0,02385	101,22661		
AP6	1,46373	1,52136	-0,05763	101,16898	-0,0016364	101,16734
AP7	1,39135	1,45577	-0,06442	101,10456	-0,0017727	101,10279
vp	1,45577	1,55335	-0,09758	101,00698		
vp	1,43755	1,74032	-0,30277	100,70421		
AP8	1,15168	1,37124	-0,21956	100,48465	-0,0021818	100,48247
VP	1,60901	0,96771	0,64130	101,12595		
AP9	1,46154	1,27419	0,18735	101,31330	-0,0024545	101,31085
AP10	1,52542	1,41030	0,11512	101,42842	-0,0025909	101,42583
vp	1,41030	0,82583	0,58447	102,01289		
AP11	1,91883	1,03413	0,88470	102,89759	-0,0028636	102,89473
vp	1,73093	0,81935	0,91158	103,80917		
AP12	3,19327	0,11458	3,07869	106,88786	-0,0031364	106,88472
AP13	1,87560	1,81894	0,05666	106,94452	-0,0032727	106,94125
vp	1,81894	1,42078	0,39816	107,34268		
vp	1,50630	1,21205	0,29425	107,63693		
AP14	1,98026	0,86381	1,11645	108,75338	-0,0036818	108,74970
vp	0,74908	1,86208	-1,11300	107,64038		
vp	1,09159	1,37997	-0,28838	107,35200		
AP12	1,26491	1,72849	-0,46358	106,88842	-0,0040909	106,88433
vp	0,28250	3,20709	-2,92459	103,96383		
AP11	0,53352	1,59723	-1,06371	102,90012	-0,0043636	102,89576
vp	0,66371	2,05843	-1,39472	101,50540		
vp	1,26286	1,59389	-0,33103	101,17437		
vp	1,27622	1,83355	-0,55733	100,61704		
vp	1,23937	0,99795	0,24142	100,85846		
vp	1,54779	1,35697	0,19082	101,04928		
vp	1,51692	1,35017	0,16675	101,21603		
vp	1,45472	1,46392	-0,00920	101,20683		
AP4	1,34523	1,13300	0,21223	101,41906	-0,0054545	101,41361
vp	1,46026	1,49170	-0,03144	101,38762		
vp	1,15806	1,73173	-0,57367	100,81395		
vp	0,90291	1,85777	-0,95486	99,85909		
AP1	1,20795	1,69744	-0,48949	99,36960	-0,0058636	99,36374
YHT:	62,09377	62,08717				

Suhteellinen tarkkuus:			0,00000165	(1,65 ppm)
L:	4000m			
W(h):	0,0066			
	$r = \frac{w_H}{L},$			

Sulkuvirhe:		0,00660	
H(havaittu):	99,36960		
H(tunnettu):	99,363		
$w_H = H_{havaittu} - H_{tunnettu}$			